

**Поворознюк А.И., Филатова А.Е.**

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина

## Полутоновая морфологическая фильтрация на основе локальных статистик

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Большая часть медицинской информации, получаемая в результате инструментальных методов исследования, регистрируется в виде рентгеновских изображений, таких как маммограммы, флюорограммы, томограммы, рентгенограммы грудной клетки, конечностей и т.д. От качества визуализации исследуемых органов и опорно-двигательного аппарата напрямую зависит точность и своевременность диагностики. Поэтому задача повышения качества визуализации рентгенологических изображений за счет цифровой обработки изображений, в частности с помощью морфологического анализа, является актуальной научно-практической задачей.

В наиболее общем смысле Пытьев Ю.П. определил морфологический анализ как группу методов решения задач узнавания, классификации объектов, оценки параметров объектов, выделения различия в сценах по их изображениям (сигналам), основанных на понятии формы сигнала [1]. Еще более общее определение морфологического анализа дал в [2] Визильтер Ю.В. Морфологический анализ – схема анализа данных, которая в качестве обязательного этапа предполагает обоснованное (в некотором смысле оптимальное) построение модельного описания гипотетического (скрытого) прообраза наблюдаемых данных. В работе [3] предложен компаративный фильтр на основе взаимного контрастирования следующего вида:

$$\varphi_a^w(f, g)[x, y] = g_0^{w[x, y]}[x, y] + a(f, g^{w[x, y]})(g[x, y] - g_0^{w[x, y]}[x, y]), \quad (1)$$

где  $g_0^{w[x, y]}[x, y]$  – локальное среднее значение изображения  $g[x, y]$  в окне  $w[x, y]$ ;  $a(f, g^{w[x, y]}) \in [0; 1]$  – локальный коэффициент взаимного сходства фрагмента изображения  $g[x, y]$  с элементами изображения  $f$ , такой, что  $a(g, g^{w[x, y]}) = 1$  и  $a(o, g^{w[x, y]}) = 0$ , если  $o[x, y] = const$ .

В качестве коэффициента  $a(f, g^{w[x, y]})$  могут использоваться локальный нормированный и поисковый коэффициенты корреляции, локальный и поисковый морфологические коэффициенты корреляции Пытьева, «тепловые» ядра взаимного сходства фрагментов изображения на основе сравнения векторов локальных признаков и другие подобные меры сходства изображений. Независимо от такого, каким способом вычислен коэффициент  $a(f, g^{w[x, y]})$ , для применения фильтра (1) необходимо иметь эталонное изображение или модель формы, так как в [3] в качестве коэффициента используются различные локальные и поисковые коэффициенты геометрической корреляции форм.

Поэтому для решения задачи повышения качества визуализации биологических объектов на рентгенологических изображениях такие фильтры непригодны, так как из-за высокой вариабельности форм объектов или их структурных элементов, которые могут анализироваться на рентгенологических снимках, невозможно задать эталонное изображение или модель формы.

**Цель работы.** Разработка метода морфологической фильтрации полутоновых изображений для решения задачи повышения качества визуализации биомедицинских рентгеновских изображений.

**Разработка полутонового морфологического фильтра на основе локальных статистик.** Рассмотрим адаптивный фильтр Винера (АФВ), отклик  $\phi[x, y]$  которого определяется следующими выражениями:

$$\phi[x, y] = \mu[x, y] + K(g^{w[x, y]})(g[x, y] - \mu[x, y]); \quad (2)$$

$$K(g^{w[x, y]}) = \begin{cases} \frac{\sigma^2[x, y] - \nu^2}{\sigma^2[x, y]}, & \sigma^2[x, y] > \nu^2; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

где  $\mu[x, y] = \frac{1}{|\eta|} \sum_{(x', y') \in \eta} g[x', y']$  – локальное среднее изображения  $g[x, y]$  в окне  $w[x, y]$  размером  $|\eta|$  пикселей;  $\eta$  – множество точек изображения  $g[x, y]$ , попавших в окно фильтра  $w[x, y]$ ;  $\sigma^2[x, y] = \frac{1}{|\eta|-1} \sum_{(x', y') \in \eta} (g[x', y'] - \mu[x, y])^2$  – локальная дисперсия изображения  $g[x, y]$  в окне  $w[x, y]$ ;  $\nu^2$  – дисперсия шума. Если дисперсия шума неизвестна, то она вычисляется как среднее значение локальных дисперсий изображения  $g[x, y]$  как  $\nu^2 = \frac{1}{|M|} \sum_{(x, y) \in M} \sigma^2[x, y]$ , где  $M$  – множество точек изображения  $g[x, y]$ .

Очевидно, что в выражениях (1) и (2)  $g_0^{w[x, y]}[x, y] = \mu[x, y]$ . Легко заметить, что  $K(g^{w[x, y]}) = 0$ , если  $g[x, y] = o[x, y]$  или изображение  $g[x, y]$  не содержит полезного сигнала, а лишь шумовую составляющую, т.е.  $\sigma^2[x, y] \leq \nu^2$ . При этом  $K(g^{w[x, y]}) = 1$ , если изображение  $g[x, y]$  не содержит шум, т.е.  $\nu^2 = 0$ . Т.о., коэффициент  $K(g^{w[x, y]}) \in [0; 1]$ , и его свойства аналогичны свойствам коэффициента  $a(f, g^{w[x, y]})$ . Следовательно, АФВ (2), по сути, является морфологическим фильтром. При этом модель формы задается не явно, а косвенно за счет вычисления локальных статистик сигнала, попавшего в окно фильтра. Т.о., форма полезного сигнала в окне определяется законом распределения яркости пикселей, попавших в окно морфологического фильтра. В (2) в качестве таких статистик используются локальное среднее  $\mu[x, y]$ , локальная дисперсия  $\sigma^2[x, y]$  фильтруемого изображения, а также дисперсия шума  $\nu^2$ .

Однако такие статистики корректно использовать, если закон распределения яркостей пикселей, попавших в окно, подчиняется закону Гаусса. Для реальных сигналов закон распределения яркостей пикселей неизвестен, а при относительно малых размерах окна фильтра предположение о нормальном законе распределения яркостей пикселей фильтруемого сигнала может быть некорректным. Поэтому предлагается использовать такие локальные статистики, вычисление которых не требует знание закона распределения случайно величины. В работе предлагается использовать соответствующие локальные квантили, которые определяются по локальной выборке, т.е. по значениям пикселей, попавших в окно фильтра. Тогда отклик предлагаемого морфологического фильтра  $\phi_m[x, y]$  определяется следующими выражениями:

$$\phi_m[x, y] = q_{0.5}[x, y] + K_m(g^{w[x, y]})(g[x, y] - q_{0.5}[x, y]); \quad (3)$$

$$K_m(g^{w[x, y]}) = \begin{cases} \frac{\Delta q[x, y] - \Delta q_{\text{ср}}}{\Delta q[x, y]}, & \Delta q[x, y] > \Delta q_{\text{ср}}; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

где  $q_{0.5}[x, y]$  – локальная медиана изображения  $g[x, y]$  в окне  $w[x, y]$  размером  $|\eta|$  пикселей;  $\Delta q[x, y] = q_b[x, y] - q_a[x, y]$  – локальное межквантильное расстояние в окне  $w[x, y]$ ;  $q_a$ ,  $q_b$  – локальные  $a$ -квантиль и  $b$ -квантиль изображения  $g[x, y]$  в окне  $w[x, y]$ , причем  $a < b$ ;  $\Delta q_{\text{ср}} = \frac{1}{|M|} \sum_{(x, y) \in M} \Delta q[x, y]$  – среднее локальное межквантильное расстояние.

Фильтр, отклик которого определяется по (3), получил название полутонного морфологического фильтра (ПМФ) на основе локальных статистик (ЛС).

**Выводы.** В работе разработан ПМФ на основе ЛС, который позволяет без необходимости знания закона распределения полезного сигнала выполнять фильтрацию полутонного изображения с учетом формы объекта. Разработанный ПМФ на основе ЛС может быть использован для решения задачи повышения качества биомедицинских рентгенологических изображений.

**Литература.** 1. Пытьев Ю.П. Методы морфологического анализа изображений / Ю.П. Пытьев, А.И. Чуличков. – М.: Физматлит, 2010. – 336 с. 2. Визильтер Ю.В. Теория и методы морфологического анализа изображений: автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук: 05.13.17 / ГНЦ ФГУП ГосНИИАС. – М., 2008. – 34 с. 3. Лебедев М.А. Выделение отличий на мозаичных изображениях на основе референтных фильтров / М.А. Лебедев, А.Ю. Рубис, В.С. Горбачевич, Ю.В. Визильтер, О.В. Выглов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 80–86.